



SAROYO SUMARTO

ADAPTASI HEWAN

Bentuk, Fungsi, dan Strategi Bertahan Hidup
dalam Perspektif Evolusi

ADAPTASI HEWAN

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

Lingkup Hak Cipta

- 1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.*

Ketentuan Pidana

Pasal 72 :

- 1. Barangsiapa dengan sengaja atau tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).*
- 2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).*

ADAPTASI HEWAN

Bentuk, Fungsi, dan Strategi Bertahan Hidup
dalam Perspektif Evolusi

Saroyo Sumarto



ADAPTASI HEWAN

Bentuk, Fungsi, dan Strategi Bertahan Hidup dalam
Perspektif Evolusi

Penulis

Saroyo Sumarto

ISBN

978-634-04-8072-6

Desain Cover

Tim Redaksi

Layouter

Tim Redaksi

Penerbit

YAYASAN MURIA ILHAM NUSANTARA

Jl. Emerald Utama, Blok D, No. 23, RT. 01 RW. 23, Kel. Meteseh
Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50271

© Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Rights Reserved

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam
bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

PRAKATA

Adaptasi adalah bahasa halus yang digunakan hewan untuk “berdialog” dengan lingkungannya. Di balik setiap lompatan kanguru, renang paus, teriakan burung di kanopi, hingga diamnya hewan di gurun yang membara, tersembunyi rangkaian penyesuaian morfologi, fisiologi, perilaku, reproduksi, dan molekuler yang dibentuk oleh evolusi dalam rentang waktu yang sangat panjang. Buku ini lahir dari keinginan untuk menjahit beragam lapisan adaptasi itu ke dalam satu alur cerita yang utuh dan mudah diikuti.

Disusun terutama untuk mahasiswa biologi, calon guru, peneliti muda, serta pemerhati satwa, buku ini berupaya menjembatani konsep evolusi yang sering terasa abstrak dengan contoh-contoh konkret dari kehidupan hewan, termasuk fauna Indonesia seperti komodo, tarsius, dan berbagai burung hutan hujan tropis. Setiap bab berangkat dari konsep dasar, lalu bergerak ke ilustrasi lapangan dan studi kasus yang menunjukkan bagaimana adaptasi benar-benar “hidup” di alam.

Struktur buku mengikuti tingkatan organisasi biologis. Bab tentang morfologi dan anatomi mengulas bagaimana bentuk tubuh menopang fungsi, diikuti bab mengenai fisiologi yang menjelaskan “mesin dalam” tubuh hewan. Bab perilaku, reproduksi dan siklus hidup, serta adaptasi ekologis menghubungkan tubuh dengan cara hewan berinteraksi, bertahan, dan mengatur generasinya. Bab terakhir tentang adaptasi molekuler dan studi kasus integratif menutup lingkaran dari gen hingga ekosistem, sekaligus menyoroti tantangan adaptasi di era perubahan lingkungan global.

Penulis menyadari bahwa buku ini tidak mungkin mencakup seluruh kekayaan variasi adaptasi hewan. Meski demikian, diharapkan uraian yang disajikan dapat menjadi pintu masuk yang kokoh bagi pembaca untuk melihat hewan bukan sekadar sebagai bentuk-bentuk yang menarik, tetapi sebagai hasil dialog panjang antara kehidupan dan lingkungan. Semoga buku ini menginspirasi pengamatan yang lebih tajam, rasa ingin tahu yang lebih besar, dan kepedulian yang lebih dalam terhadap keberlanjutan keanekaragaman hayati di bumi.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	5
DAFTAR ISI.....	6
BAB 1 PENGANTAR ADAPTASI DAN EVOLUSI	13
1.1 Hewan dan Lingkungannya: Sebuah Gambaran Umum	13
1.2 Konsep Adaptasi dalam Biologi.....	13
1.3 Adaptasi, Aklimatisasi, dan Respons Fisiologis Jangka Pendek....	14
1.4 Level-Level Adaptasi pada Hewan	16
1.5 Adaptasi dalam Kerangka Evolusi.....	19
1.6 Contoh-Contoh Klasik Adaptasi	20
1.7 Relevansi Kajian Adaptasi pada Era Perubahan Lingkungan.....	22
BAB 2 ADAPTASI MORFOLOGI DAN ANATOMI.....	25
2.1 Pendahuluan: Bentuk Tubuh dan Kelangsungan Hidup	25
2.2 Prinsip Umum: Bentuk Mengikuti Fungsi.....	26
2.3 Adaptasi Alat Gerak	28
2.3.1 Gerak di Darat.....	29
2.3.2 Gerak di Air.....	30
2.3.3 Gerak di Udara	32
2.3.4 Gerak Memanjat dan Hidup di Vegetasi	34
2.4 Adaptasi Alat Makan.....	35
2.4.1 Variasi Paruh pada Burung	36
2.4.2 Variasi Gigi pada Vertebrata	37
2.4.3 Rahang dan Otot Pengunyah.....	38
2.4.4 Lidah dan Struktur Mulut Lain.....	39
2.5 Struktur Pelindung: Kulit, Bulu, Sisik, Cangkang, dan Kamuflase	39
2.5.1 Kulit dan Turunannya	40
2.5.2 Duri, Tanduk, dan Struktur Defensif Lain.....	41
2.5.3 Mimikri dan Kamuflase Struktural.....	42

2.6 Adaptasi Anatomi Sistem Organ.....	43
2.6.1 Sistem Pernapasan.....	43
2.6.2 Sistem Pencernaan.....	44
2.6.3 Sistem Rangka dan Otot.....	45
BAB 3 ADAPTASI FISILOGI	48
3.1 Pendahuluan: Fisiologi sebagai Dasar Fungsi Kehidupan.....	48
3.2 Homeostasis: Konsep Dasar.....	49
3.2.1 Pengertian Homeostasis.....	49
3.2.2 Mekanisme Umpan Balik Negatif	50
3.2.3 Homeostasis sebagai Landasan Adaptasi Fisiologis.....	51
3.3 Termoregulasi: Endoterm, Ektoterm, dan Strategi Menghadapi Suhu Lingkungan.....	52
3.3.1 Endoterm dan Ektoterm.....	52
3.3.2 Adaptasi terhadap Lingkungan Dingin dan Panas.....	53
3.3.3 Hibernasi, Estivasi, dan Torpor.....	55
3.4 Osmoregulasi dan Keseimbangan Air.....	56
3.4.1 Prinsip Dasar Osmoregulasi.....	56
3.4.2 Ikan Air Tawar dan Air Laut	56
3.4.3 Hewan Darat dan Hewan Gurun	57
3.4.4 Hewan Laut Dalam dan Lingkungan Ekstrem Lain	58
3.5 Adaptasi terhadap Oksigen	59
3.5.1 Tantangan Ketersediaan Oksigen.....	59
3.5.2 Hewan Dataran Tinggi.....	60
3.5.3 Hewan Penyelam.....	60
3.5.4 Hewan Penghuni Lumpur dan Lingkungan Hipoksia.....	61
3.6 Adaptasi Metabolisme: Pengelolaan Energi	62
3.6.1 Metabolisme dan Kebutuhan Energi	62
3.6.2 Strategi Hemat Energi dan Toleransi Puasa.....	62
3.6.3 Hewan dengan Aktivitas Sangat Tinggi.....	63
3.7 Senyawa Khusus dan Strategi Biokimia	64

3.7.1 Racun dan Zat Pertahanan Kimia	64
3.7.2 Enzim Ekstrem dan Hewan di Lingkungan Ekstrem	64
3.7.3 Protein Antifreeze dan Adaptasi terhadap Suhu Rendah	65
3.7.4 Pigmen dan Senyawa untuk Fungsi Khusus Lain.....	65
BAB 4 ADAPTASI PERILAKU.....	68
4.1 Pendahuluan: Perilaku sebagai Wajah Luar Fisiologi dan Bentuk	68
4.2 Konsep Dasar Perilaku Adaptif	70
4.2.1 Definisi Perilaku.....	70
4.2.2 Perilaku Adaptif dan Nilai Kebugaran.....	71
4.3 Perilaku Mencari Makan.....	72
4.3.1 Strategi Berburu Aktif dan Sit and Wait.....	72
4.3.2 Menjebak dan Mengelabui Mangsa	74
4.3.3 Mengintai dan Berburu Berkelompok.....	74
4.3.4 Teori Pencarian Makan Optimal.....	75
4.4 Perilaku Menghindari Predator	76
4.4.1 Diam, Kamuflase, dan Pura pura Mati.....	77
4.4.2 Lari, Berindung, dan Strategi Pelarian.....	78
4.4.3 Berkelompok, Alarm Call, dan Mobbing	78
4.5 Perilaku Sosial dan Komunikasi	79
4.5.1 Manfaat dan Biaya Hidup Sosial	80
4.5.2 Hierarki Dominansi.....	80
4.5.3 Kerja Sama dan Pembagian Tugas	81
4.5.4 Komunikasi: Sinyal dan Saluran Komunikasi.....	82
4.6 Adaptasi Ritme Aktivitas	83
4.6.1 Ritme Sirkadian dan Pola Aktivitas.....	83
4.6.2 Fungsi Adaptif Pola Aktivitas	84
4.7 Migrasi dan Orientasi Ruang.....	84
4.7.1 Migrasi: Gerak Jauh yang Teratur.....	84
4.7.2 Orientasi dan Navigasi.....	85
4.8 Perilaku Reproduksi	86

4.8.1 Display Kawin dan Pilihan Pasangan	86
4.8.2 Sistem Kawin dan Strategi Reproduksi.....	88
4.8.3 Parental Care atau Pengasuhan Anak.....	89
BAB 5 ADAPTASI REPRODUKSI DAN SIKLUS HIDUP	93
5.1 Pendahuluan: Reproduksi sebagai Kunci Kelangsungan Spesies..	93
5.2 Strategi r dan K: Antara Kuantitas dan Kualitas Keturunan.....	94
5.2.1 Konsep Strategi R dan K	94
5.2.2 Trade-off dalam Strategi Reproduksi.....	96
5.3 Metamorfosis dan Pola Siklus Hidup.....	97
5.3.1 Metamorfosis Sempurna dan Tidak Sempurna.....	97
5.3.2 Keuntungan Ekologis Metamorfosis.....	99
5.4 Sinkronisasi Reproduksi dengan Musim dan Lingkungan.....	100
5.4.1 Musim Kawin dan Lingkungan yang Berubah.....	100
5.4.2 Fotoperiodisme dan Isyarat Lingkungan Lain.....	101
5.5 Adaptasi Telur dan Embrio	102
5.5.1 Cangkang Telur dan Lingkungan Darat	102
5.5.2 Kantung Telur, Plasenta, dan Reproduksi Vivipar	103
5.5.3 Penetasan Tertunda dan Diapause Embrio	104
5.6 Perilaku Parental Care: Dari Tanpa Perawatan hingga Pengasuhan Intensif	105
5.6.1 Spektrum Pengasuhan.....	105
5.6.2 Perbedaan Pola Pengasuhan Menurut Kelompok Hewan.....	107
5.6.3 Biaya dan Manfaat Parental Care.....	109
BAB 6 ADAPTASI EKOLOGIS: HABITAT-HABITAT UTAMA	112
6.1 Pendahuluan: Habitat, Relung, dan Paket Adaptasi.....	112
6.2 Prinsip Umum Adaptasi Ekologis.....	114
6.3 Hewan Gurun	115
6.3.1 Karakteristik Lingkungan Gurun	115
6.3.2 Adaptasi Morfologi.....	116
6.3.3 Adaptasi Fisiologi.....	116

6.3.4 Adaptasi Perilaku	117
6.3.5 Adaptasi Reproduksi dan Siklus Hidup.....	118
6.4 Hewan Kutub dan Pegunungan Tinggi	119
6.4.1 Tantangan Lingkungan Dingin dan Hipoksia.....	119
6.4.2 Adaptasi Morfologi	119
6.4.3 Adaptasi Fisiologi	120
6.4.4 Adaptasi Perilaku.....	121
6.4.5 Adaptasi Reproduksi	121
6.5 Hewan Akuatik: Air Tawar, Laut Dangkal, dan Laut Dalam.....	122
6.5.1 Karakteristik Umum Lingkungan Akuatik.....	122
6.5.2 Adaptasi Morfologi.....	123
6.5.3 Adaptasi Fisiologi: Osmoregulasi dan Tekanan	124
6.5.4 Adaptasi Perilaku dan Strategi Makan.....	125
6.5.5 Adaptasi Reproduksi di Lingkungan Akuatik	125
6.6 Hewan Hutan Hujan Tropis.....	126
6.6.1 Karakteristik Ekologi Hutan Hujan Tropis	126
6.6.2 Adaptasi Morfologi	127
6.6.3 Adaptasi Fisiologi	128
6.6.4 Adaptasi Perilaku	128
6.6.5 Adaptasi Reproduksi dan Siklus Hidup	129
6.7 Hewan Gua dan Lingkungan Gelap.....	130
6.7.1 Tantangan Lingkungan Gua.....	130
6.7.2 Adaptasi Morfologi.....	130
6.7.3 Adaptasi Fisiologi dan Metabolisme	131
6.7.4 Adaptasi Perilaku dan Reproduksi.....	131
6.8 Lingkungan Ekstrem Lain: Vent Hidrotermal dan Ekosistem Aneh Lainnya.....	132
6.8.1 Vent Hidrotermal dan Mata Air Panas.....	132
6.8.2 Danau Asam, Air Sangat Asin, dan Lingkungan Anoksik.....	133
BAB 7 ADAPTASI MOLEKULER DAN GENETIK.....	136

7.1 Pendahuluan: Dari Gen ke Lingkungan	136
7.2 Gen, Protein, dan Adaptasi Lingkungan.....	137
7.2.1 Gen sebagai Cetak Biru Protein	137
7.2.2 Hemoglobin dan Adaptasi terhadap Ketinggian.....	138
7.2.3 Protein Antifreeze di Perairan Dingin.....	139
7.2.4 Enzim dan Adaptasi Suhu.....	140
7.3 Mutasi dan Seleksi pada Tingkat DNA.....	141
7.3.1 Sumber Variasi Genetik: Mutasi dan Rekombinasi	141
7.3.2 Seleksi Alam pada Level Molekuler	142
7.3.3 Duplikasi Gen dan Evolusi Fungsi Baru.....	143
7.4 Konvergensi Molekuler: Solusi Mirip pada Garis Keturunan Berbeda	144
7.4.1 Konvergensi Morfologi dan Molekuler	144
7.4.2 Contoh Konvergensi Molekuler	145
7.5 Mikrobiota sebagai “Mitra Adaptasi”	145
7.5.1 Konsep Holobiont: Hewan dan Mikroba sebagai Satu Kesatuan	145
7.5.2 Simbion Pencerna Selulosa dan Bahan Tumbuhan	146
7.5.3 Mikrobiota, Detoksifikasi, dan Adaptasi Diet Khusus.....	147
7.5.4 Mikrobiota dan Sistem Imun.....	147
7.6 Menutup Lingkaran: Dari DNA ke Ekosistem.....	148
BAB 8 CONTOH KASUS ADAPTASI HEWAN	150
8.1 Adaptasi sebagai Paket Lengkap	150
8.2 Unta: Spesialis Gurun Kering	151
8.2.1 Morfologi dan Anatomi.....	151
8.2.2 Fisiologi.....	153
8.2.3 Perilaku.....	153
8.2.4 Reproduksi dan Siklus Hidup	154
8.2.5 Ekologi dan Sebaran	154
8.2.6 Dimensi Molekuler.....	155

8.3 Penguin: Adaptasi Hidup di Laut Dingin.....	155
8.3.1 Morfologi dan Anatomi.....	155
8.3.2 Fisiologi.....	156
8.3.3 Perilaku.....	157
8.3.4 Reproduksi dan Parental Care.....	157
8.3.5 Ekologi dan Sebaran	158
8.3.6 Dimensi Molekuler.....	158
8.4 Burung Migran Jarak Jauh: Strategi Energi dan Navigasi	159
8.4.1 Morfologi dan Anatomi	159
8.4.2 Fisiologi	159
8.4.3 Perilaku: Navigasi dan Rute Migrasi.....	160
8.4.4 Reproduksi dan Siklus Hidup	160
8.4.5 Dimensi Molekuler dan Genetik.....	161
8.5 Komodo: Predator Pulau Kering Khas Indonesia	161
8.5.1 Morfologi dan Anatomi	161
8.5.2 Fisiologi.....	162
8.5.3 Perilaku.....	162
8.5.4 Reproduksi dan Siklus Hidup	163
8.5.5 Ekologi dan Sebaran	164
8.5.6 Dimensi Molekuler.....	164
8.6 Benang Merah: Pola Umum dalam Adaptasi Hewan.....	164
8.7 Tantangan ke Depan:	
Perubahan Lingkungan dan Batas Adaptasi.....	166
PENUTUP:	
ADAPTASI SEBAGAI BAHASA UMUM KEHIDUPAN HEWAN.....	168
DAFTAR PUSTAKA.....	170
TENTANG PENULIS	172

TENTANG PENULIS



Dr. Saroyo Sumarto dilahirkan di Boyolali Jawa Tengah dari pasangan Dalimo Pawiro Sumarto dan Sumirin Pawiro Sumarto. Menempuh pendidikan sarjana pada Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Surakarta, magister pada Program Studi Biologi Institut Teknologi Bandung dan doktor pada Program Studi Primatologi Institut Pertanian Bogor dan lulus pada tahun 2006.

Pekerjaan utamanya ialah sebagai staf pengajar Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi Manado untuk mata kuliah Biodiversitas dan Biologi Konservasi. Aktif dalam berbagai penelitian Biodiversitas dan Konservasi Sulawesi. Berbagai pertemuan ilmiah, seminar, simposium, dan konferensi tingkat nasional dan internasional telah diikuti. Demikian pula berbagai tulisan, prosiding, jurnal, dan monograf tingkat nasional dan internasional telah dihasilkan.

Beberapa buku yang ditulis ialah:

- Climbing Mount Tangkoko: Conservation Education Medium (Halaman Moeka Publishing, 2010)
- Biogeografi (Penerbit Alfabeta, 2012)
- Biologi Konservasi (Penerbit Patra Media Grafindo, 2012)
- Monograf Local Wisdom of Danowudu Community in Preserving Forest as a Water Source in City of Bitung dalam Climate Change Management: Climate Change and Sustainable Use of Water (Penerbit Springer-Verlag, 2012)
- Biologi Konservasi (Penerbit CV. Patra Media Grafindo, 2012)
- Biodiversitas (Patra Media Grafindo, 2013), Ekologi Hewan (Patra Media Grafindo, 2016)
- Perilaku Hewan (Patra Media Grafindo, 2017), Biodiversitas Kota Bitung

(Patra Media Grafindo, 2018)

- Primatologi (Patra Media Grafindo, 2018)
- Mamalia dan Burung Endemik Sulawesi di Kota Bitung (Patra Media Grafindo, 2021)
- Metode Sampling Biodiversitas (Bina Lentera Insan, 2021)
- Energi dan Lingkungan (Bina Lentera Insan, 2021)
- Panduan Lapangan Biologi Konservasi (Bina Lentera Insan, 2022)
- Metodologi Penelitian Biologi (Patra Media Grafindo, 2022)
- Biologi Konservasi: Bioekologi Burung Introduksi Sulawesi Utara, Cucak Kutilang [*Pycnonotus aurigaster* (Vieillot, 1818)] sebagai Dasar dalam Pelestarian Burung Lokal (Patra Media Grafindo, 2022)
- Biodiversitas: Bioekologi dan Konservasi Hewan Liar Darat Endemik Pulau Sulawesi di Kota Bitung (Patra Media Grafindo, 2023)
- Ekologi Perilaku (Penerbit Deep Publish, 2024).

Penghargaan Internasional yang telah diterimanya ialah 2006 Lawrence Jacobsen Education Development Award, International Primatological Society, United State of America dan American Society of Primatologists Conservation Committee Journal Subscription Award, American Society of Primatologists, United State of America.

ADAPTASI ADALAH BAHASA HALUS YANG DIGUNAKAN HEWAN UNTUK “BERDIALOG” DENGAN LINGKUNGANNYA

Dari gurun yang membara hingga laut dalam yang gelap, dari kanopi hutan hujan tropis hingga wilayah kutub yang membeku, hewan-hewan menunjukkan beragam strategi untuk bertahan hidup dan bereproduksi. Strategi tersebut terwujud dalam bentuk tubuh, cara kerja organ, pola perilaku, sistem reproduksi, hingga perubahan pada tingkat molekuler.

Buku Adaptasi Hewan mengajak pembaca memahami adaptasi sebagai hasil evolusi jangka panjang yang bekerja pada berbagai tingkat organisasi biologis. Disusun secara sistematis, buku ini membahas adaptasi morfologi, fisiologi, perilaku, reproduksi, ekologi, dan molekuler, dilengkapi dengan contoh-contoh klasik serta studi kasus fauna dunia dan Indonesia, seperti komodo, burung migran, penguin, dan unta.

Ditujukan bagi mahasiswa biologi, calon pendidik, peneliti muda, dan pemerhati satwa, buku ini menjembatani konsep evolusi yang sering terasa abstrak dengan fenomena nyata di alam. Dengan pendekatan yang naratif namun tetap ilmiah, Adaptasi Hewan diharapkan menjadi pintu masuk yang kokoh untuk memahami bagaimana kehidupan membentuk dirinya melalui dialog panjang dengan lingkungan.



Penerbit :

MURIA ILHAM NUSANTARA

Jl. Emerald Utama, Blok D No. 23, RT. 01 RW. 23, Kel. Meteseh,
Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50271

ISBN 978-634-04-8072-6 (PDF)



9

786340

480726